

R 40767 D3



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 47 136 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 01 R 31/303**  
G 01 R 31/308  
G 01 N 21/45

⑲ Aktenzeichen: 100 47 136.6  
⑳ Anmeldetag: 22. 9. 2000  
㉔ Offenlegungstag: 19. 4. 2001

DE 100 47 136 A 1

③0 Unionspriorität:

155844	24. 09. 1999	US
500757	08. 02. 2000	US

⑦1 Anmelder:

Schlumberger Technologies Inc., San Jose, Calif.,  
US

⑦4 Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser,  
80538 München

⑦2 Erfinder:

Wilsher, Kenneth R., Palo Alto, Calif., US; Lo,  
William K., San Jose, Calif., US

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Doppeltegepulstes optisches Interferometer zur Signalformabtastung integrierter Schaltungen

⑤7 Optische Interferometrie wird dazu verwendet, ein untersuchtes Gerät (DUT) in Form einer integrierten Schaltung zu untersuchen. Während jedes Zyklus eines sich wiederholenden elektrischen Testmusters, das an das DUT angelegt wird, wird ein Bezugsimpuls zu einer festen Zeit in Bezug auf das Testmuster zur Verfügung gestellt, und wird ein Abtastimpuls zu einer Zeit zur Verfügung gestellt, mit welcher eine Abtastung durch das Testmuster stattfindet, entsprechend einer zeitlichen Abtastung. Die Abtast- und Bezugslichtimpulse werden jeweils aufgeteilt, um zumindest einen zweiten Abtastimpuls und einen zweiten Bezugsimpuls zur Verfügung zu stellen. Bei einem Abtastimpuls und einem Bezugsimpuls tritt eine Wechselwirkung mit dem DUT am selben physikalischen Ort auf, jedoch zu verschobenen Zeiten in Bezug aufeinander. Der zweite Abtastimpuls und der zweite Bezugsimpuls durchlaufen einen optischen Verzögerungsweg mit einer Länge, die zum Ausgleich von Bewegungen des DUT gesteuert wird. Die Abtastimpulse werden wieder miteinander vereinigt und festgestellt, um ein Abtastinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen. Die Bezugsimpulse werden wieder miteinander vereinigt und festgestellt, um ein Bezugsinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen. Für jeden Zyklus wird elektrische Aktivität in dem DUT dadurch festgestellt, daß ein Verhältnis des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals erzeugt wird.

DE 100 47 136 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Anmeldung beansprucht die Priorität der provisorischen US-Anmeldung Nr. 60/155.844, eingereicht am 24. September 1999, die durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung eingeschlossen wird.

Die Erfindung betrifft die optische Untersuchung integrierter Schaltungen, und insbesondere die Abtastung mittels optischer Interferometrie der elektrischen Aktivität integrierter Schaltungen.

Die elektrische Aktivität in integrierten Schaltungen kann optisch dadurch überwacht werden, daß Änderungen des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten abgetastet werden, die durch verschiedene Vorspannungen und Leitungsträgerdichten an Halbleiterdiodenübergängen hervorgerufen werden. Beispielsweise wirken sich Änderungen des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten des Halbleitermaterials als Änderungen der Intensität eines optischen Strahls aus, der von dem Diodenübergang reflektiert wird.

Paniccia et al beschreiben im US-Patent 5,872,360, das durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung eingeschlossen wird, das Detektieren eines elektrischen Feldes in dem aktiven Bereich einer integrierten Schaltung. Bei einer Ausführungsform wird ein Laserstrahl auf einer Wellenlänge in der Nähe der Bandlücke eines Halbleiter wie beispielsweise Silizium betrieben. Der Laserstrahl wird auf einen P-N-Übergang (Diodenübergang) wie beispielsweise den Drainbereich eines MOS-Transistors über die Rückseite des Halbleitersubstrats fokussiert. Der Strahl geht durch den Übergang hindurch, wird an der Oxidgrenzfläche und dem Metall hinter dem Übergang reflektiert, kehrt durch den Übergang zurück, und verläßt die Siliziumoberfläche. Die Modulation des elektrischen Feldes in dem Übergang führt zur Amplitudenmodulation bei diesem reflektierten Strahl infolge der kombinierten Auswirkungen der elektrischen Absorption und der elektrischen Brechung.

Wilsher et al beschreiben im US-Patent 5,905,577, das durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung eingeschlossen wird, eine Doppellaserstrahlabtastung integrierter Schaltungen. Ein Abtaststrahl wird dazu verwendet, die Signalform bei einem untersuchten Gerät (DUT) in Form einer integrierten Schaltung während jedes Zyklus eines Testmustersignals abzutasten, welches auf das DUT einwirkt. Auch ein Bezugslaserstrahl wird zur Abtastung des DUT an demselben physikalischen Ort eingesetzt, der von dem Abtaststrahl abgetastet wird. Jede Bezugsmessung wird zu einer Zeit in Bezug auf das Testmuster durchgeführt, während die Abtastmessungen einen Scan durch das Testmuster durchführen, was einer äquivalenten Zeitabtastung entspricht, um die Signalform zu rekonstruieren. Für jeden Testzyklus wird das Verhältnis der Abtastmessung und der Bezugsmessung festgestellt, um Schwankungen bei der Abtastmessung infolge von Rauschen zu verringern.

Änderungen des Brechungsindex und des Absorptionskoeffizienten infolge der elektrischen Aktivität in einem DUT können sich auch als Phasenmodulation eines optischen Strahls zeigen, der von dem DUT durchgelassen oder durch dieses reflektiert wird. Abtastungen der Phasenmodulation können empfindlicher auf die elektrische Aktivität in einem DUT reagieren als Abtastungen des Reflexionsvermögens. Heinrich et al beschreiben im US-Patent 4,758,092, das durch Bezugnahme in die vorliegende Anmeldung eingeschlossen wird, ein Verfahren zur interferometrischen Messung der Phasenmodulation eines optischen Strahls durch ein aktives Halbleitergerät. Ein optischer Strahl wird in zwei Strahlen aufgeteilt, die auf das DUT fokussiert werden. Ein Strahl wird auf einen aktiven Bereich fokussiert, bei wel-

chem er eine Phasenmodulation durch einen modulierten Brechungsindex erfährt, und der andere Strahl wird auf einen inaktiven Bereich fokussiert, um eine Bezugsgröße zur Verfügung zu stellen. Die reflektierten Strahlen werden wieder miteinander vereinigt und interferieren. Die Modulation der Intensität der interferierenden Strahlen wird der Modulation der Phase des Abtaststrahls infolge der elektrischen Aktivität in dem abgetasteten Bereich zugeschrieben.

Interferometrische Verfahren sind typischerweise extrem empfindlich in Bezug auf Vibrationen und Temperaturänderungen. Bei dem Verfahren von Heinrich et al ist die relative Phase der beiden, miteinander interferierenden Strahlen grundsätzlich unempfindlich auf DUT-Vibrationen und temperaturinduzierte Bewegungen entlang der Strahlachse. Allerdings ist es auf einer hochintegrierten Schaltung äußerst schwierig, geeignete Punkte zum Aufbringen des Bezugsstrahls aufzufinden. Darüber hinaus ist immer noch eine Empfindlichkeit in Bezug auf Bewegung quer über die Laserstrahlachse vorhanden.

Erforderlich ist ein interferometrisches Verfahren für die Signalformabtastung integrierter Schaltungen, das unempfindlich in Bezug auf durch Vibrationen und Temperatur hervorgerufene Bewegungen des DUT ist, und bei welches es nicht erforderlich ist, einen geeigneten Bezugspunkt auf dem DUT in der Nähe der interessierenden, aktiven Region aufzufinden.

Gemäß der Erfindung umfaßt ein Verfahren zur Feststellung der elektrischen Aktivität in einem Halbleitergerät, wenn ein sich wiederholendes elektrisches Testmustersignal an das Gerät angelegt wird, die Bereitstellung eines ersten Abtastlichtimpulses zu einem ausgewählten Zeitpunkt während jeder Wiederholung des elektrischen Testmusters, und die Bereitstellung eines ersten Bezugslichtimpulses zu einem Zeitpunkt während jeder Wiederholung des elektrischen Testmusters, der in Bezug auf den ausgewählten Zeitpunkt verschoben ist, an welchem der erste Abtastlichtimpuls bereitgestellt wird. Der erste Abtastlichtimpuls und der erste Bezugslichtimpuls sind jeweils aufgeteilt, um zumindest einen zweiten Abtastlichtimpuls und einen zweiten Bezugslichtimpuls zur Verfügung zu stellen. Der erste Abtastlichtimpuls und der erste Bezugslichtimpuls werden auf einem Bereich des Halbleitergerätes geschickt.

Nachdem eine Wechselwirkung des ersten Abtastlichtimpulses und des ersten Bezugslichtimpulses mit dem Halbleitergerät stattgefunden hat, wird der erste Abtastlichtimpuls mit dem zweiten Abtastlichtimpuls so vereinigt, daß sich diese beiden Impulse räumlich und zeitlich überlappen, und wird der erste Bezugslichtimpuls mit dem zweiten Bezugslichtimpuls so vereinigt, daß sie sich räumlich und zeitlich überlappen. Die sich überlappenden Abtastlichtimpulse werden detektiert, um ein Abtastinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen, und die sich überlappenden Bezugslichtimpulse werden detektiert, um ein Bezugsinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen. Die ausgewählte Zeit wird mit der Wiederholung des elektrischen Testmusters variiert. Das Verhältnis des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals wird an mehreren ausgewählten Zeiten innerhalb des elektrischen Testmusters ermittelt.

Eine zugehörige Einrichtung umfaßt eine Quelle für einen ersten Abtastlichtimpuls, eine Quelle für einen ersten Bezugslichtimpuls, einen Strahlteiler, eine Halterung für das Halbleitergerät, eine Strahlvereinigungsvorrichtung, ein Detektorsystem, und eine Prozessor zur Bestimmung eines Verhältnisses des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals.

Die Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, aus welchen weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Einrichtung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 einen Abschnitt der Erfindung von Fig. 1 mit weiteren Einzelheiten; und

Fig. 3 Interferenzsignale zur Erläuterung des Betriebsablaufs der Einrichtung gemäß Fig. 1.

Integrierte Schaltungen werden unter Einsatz der optischen Interferometrie abgetastet. Während jedes Wiederholungszyklus eines elektrischen Testmustersignals, welches wiederholt an ein untersuchtes Gerät (DUT) in Form einer integrierten Schaltung angelegt wird, werden ein Abtastlichtimpuls und ein Bezugslichtimpuls zur Verfügung gestellt, und breiten sich entlang desselben optischen Weges aus, um die elektrische Signalform auf dem DUT abzutasten. Die Abtastimpulse weisen eine kurze zeitliche Dauer auf, verglichen mit der Periode des interessierenden höchstfrequenten Signals in dem Testmuster, um eine Messung mit großer Bandbreite der Testmustersignalförm zu ermöglichen. Die Bezugsimpulse weisen typischerweise eine längere Dauer als die Abtastimpulse. Die Bezugsimpulse sind in einem festen Zeitabstand zu dem Testmuster vorgesehen. Die Abtastimpulse werden durch das Testmuster während einer Gruppe von Testmusterzyklen durchgescannt, auf eine Art und Weise, wie das bei der äquivalenten Zeitabtastung üblich ist, um die DUT-Signalförm zu rekonstruieren.

Ein Teil jedes Abtastimpulses und jedes Bezugsimpulses wird abgeteilt und detektiert, um die Energie der auf das DUT einfallenden Impulse festzustellen. Darüber hinaus wird der Abtastimpuls in einem Interferometer aufgeteilt, um zumindest einen ersten Abtastimpuls und einen zweiten Abtastimpuls zur Verfügung zu stellen, und wird der Bezugsimpuls in dem Interferometer aufgeteilt, um zumindest einen ersten Bezugsimpuls und einen zweiten Bezugsimpuls zur Verfügung zu stellen. Der erste Abtastimpuls und der erste Bezugsimpuls tasten die Signalförm auf dem DUT am selben physikalischen Ort ab, jedoch zeitlich durch eine variable Verzögerung verschoben, wenn mit dem Abtastimpuls ein Scan durch das Testmuster vorgenommen wird. Der zweite Abtastimpuls und der zweite Bezugsimpuls durchlaufen identische Wege in einem Verzögerungsarm des Interferometers.

Nach der Wechselwirkung mit dem DUT wird der erste Abtastimpuls mit dem zweiten Abtastimpuls wiedervereinigt, um ein Abtastinterferenzsignal an einem Detektor zur Verfügung zu stellen. Entsprechend wird nach der Wechselwirkung mit dem DUT der erste Bezugsimpuls mit dem zweiten Bezugsimpuls wiedervereinigt, um ein Bezugsinterferenzsignal an einem Detektor zur Verfügung zu stellen. Das Abtastinterferenzsignal ändert sich im Verlauf der Zeit, wenn mit dem Abtastimpuls ein zeitlicher Scan durch das Testmuster durchgeführt wird, infolge der sich zeitlich ändernden elektrischen Aktivität in dem DUT, welche die optische Phase des ersten Abtastimpulses moduliert, wenn eine Wechselwirkung zwischen dem ersten Abtastimpuls und dem DUT stattfindet. Auch das Abtastinterferenzsignal weist eine zeitliche Änderung auf, infolge von Rauschen, das durch mechanisches Kriechen, Temperaturänderungen, Vibrationsbewegungen des DUT hervorgerufen wird, und infolge von Amplitudenrauschen auf den einfallenden Abtastimpulsen, das durch Schwankungen im Ausgangssignal der Abtastimpulslichtquelle hervorgerufen wird. Das Bezugsinterferenzsignal ändert sich zeitlich infolge von Rauschen, das durch mechanisches Kriechen hervorgerufen wird, von Temperaturänderungen, Bewegungen des DUT, und von Amplitudenrauschen auf den einfallenden Bezugsimpulsen. Da die Bezugsimpulse zu einer festen Zeit in Bezug auf das Testmuster vorhanden sind, ändert sich das Bezugsinterferenzsignal nicht im Verlauf der Zeit infolge der

elektrischen Aktivität in dem DUT.

Das Bezugsinterferenzsignal wird dadurch stabilisiert (annähernd konstant ausgebildet), daß schnell die Weglänge des Verzögerungsarms des Interferometers eingestellt wird, um eine Bewegung des DUT entlang der optischen Achse zu kompensieren, die durch Vibrationen oder Kriechen hervorgerufen wird. Da der zweite Abtastimpuls und der zweite Bezugsimpuls denselben optischen Weg entlang dem Verzögerungsarm des Interferometers durchlaufen, schalten in vorteilhafter Weise die Einstellungen, die in Bezug auf die Weglänge des Interferometerverzögerungsarms zum Stabilisieren des Bezugsinterferenzsignals durchgeführt werden, auch das Rauschen in dem Abtastinterferenzsignal infolge einer Bewegung des DUT entlang der optischen Achse aus.

Das Rauschen in dem Abtastinterferenzsignal infolge von Amplitudenrauschen bei den einfallenden Abtastimpulsen wird dadurch ausgeschaltet, daß das Abtastinterferenzsignal durch die gemessene Einfallsbabtastimpulsenergie normiert wird, also durch Berechnung des Abtastreflexionsverhältnisses. Amplitudenrauschen bei den einfallenden Abtastimpulsen wird bei dem Reflexionsverhältnis ausgeglichen, da das Amplitudenrauschen in identischerweise in dem Abtastinterferenzsignal und der gemessenen Einfallsbabtastimpulsenergie vorhanden ist. Entsprechend wird das Rauschen in dem Bezugsinterferenzsignal infolge von Amplitudenrauschen bei den einfallenden Bezugsimpulsen dadurch ausgeschaltet, daß das Bezugsinterferenzsignal durch die gemessene Einfallsbzugsimpulsenergie normiert wird, um das Bezugsreflexionsverhältnis zur Verfügung zu stellen.

Temperaturänderungen und die Bewegung des DUT quer über die optische Achse beeinflussen das Abtastreflexionsverhältnis und das Bezugsreflexionsverhältnis auf gleiche Weise. Rauschen von diesen Quellen wird dadurch ausgeschaltet, daß das Verhältnis des Abtastreflexionsverhältnisses und des Bezugsreflexionsverhältnisses berechnet wird. Die verbleibende Modulation des Verhältnisses des Abtastreflexionsverhältnisses und des Bezugsreflexionsverhältnisses repräsentiert die Signalförm der elektrischen Aktivität in dem DUT.

Fig. 1 zeigt schematisch ein doppeltgepulstes optisches Interferometersystem 600. Ein Moden-verriegelter Laser 602, der auf einer herkömmlichen Laserplattform 604 angeordnet ist, gibt eine Laserimpulskette 606 aus. Bei einer Ausführungsform ist der Moden-verriegelte Laser ein Moden-verriegelter Nd:YAG-Laser, Modell 131-200 von Lightwave Electronics, der Impulse mit einer Dauer von annähernd 35 Picosekunden (ps) mit einer Wiederholungsrate von 100 MHz und einer Wellenlänge von 1064 nm ausgibt. Die Impulskette 606 geht durch den optischen Modulator 608 hindurch, der einen Abtastimpuls 609 aus der Impulskette 606 auswählt, wie dies bei 610 angedeutet ist, und zwar für jeden Zyklus eines Testmusters, das wiederholt an ein DUT angelegt wird. Der optische Modulator 608 ist beispielsweise ein elektro-optischer Modulator des Typs Conoptics 360-80 mit einem Treiber des Typs Conoptics 25D, jedoch können auch andere optische Modulatoren eingesetzt werden, beispielsweise akusto-optische Modulatoren. Bei einer Ausführungsform umfaßt der optische Modulator 608 zwei hintereinander geschaltete optische Modulatoren, um die unerwünschten Impulse in der Impulskette 608 noch vollständiger zu unterdrücken.

Der Dauerstrichlaser 612, der sich ebenfalls auf der Laserplattform 604 befindet, gibt einen Laserstrahl 614 mit kontinuierlicher Amplitude an den optischen Modulator 616 aus. Bei einer Ausführungsform ist der Dauerstrichlaser 612 ein Dauerstrich-Nd:YAG-Laser des Modells 1064-500 des Typs Compass™ von Coherent, Inc., der ebenfalls bei einer Wellenlänge von 1064 nm arbeitet. Der optische Modulator

616 ist ebenfalls beispielsweise ein elektro-optischer Modulator des Typs Conoptics 360-80, jedoch können auch andere optische Modulatoren verwendet werden. Bei einer Ausführungsform umfaßt der optische Modulator 616 zwei hintereinander geschaltete optische Modulatoren. Der optische Modulator 616 moduliert den Strahl 614 zur Bereitstellung eines Bezugsimpulses 618 mit einer so kurzen Dauer wie 10 ns für jeden Zyklus eines Testmusters, welches an ein DUT angelegt wird. Bei einer Ausführungsform weist der Bezugsimpuls eine Dauer von 150 Nanosekunden (ns) auf, und sind der Bezugsimpuls und der Abtastimpuls zeitlich durch eine Zeitverzögerung von etwa 1,5 Mikrosekunden ( $\mu$ s) bis etwa 1 Millisekunde (ms) getrennt, abhängig von dem elektrischen Testmuster für das DUT.

Der Abtast- und der Bezugsimpuls werden einer Strahlvereinigungsvorrichtung 620 zugeführt, beispielsweise einem Strahlteiler für hohe Energie des Modells PS1-1064-10-1025-45P von CVI-Laser Corporation, wobei je nach Erfordernis eine Strahlablenkoptik wie beispielsweise ein Spiegel 622 eingesetzt wird. Die Strahlvereinigungsvorrichtung 620 schickt die Abtastimpulse und die Bezugsimpulse entlang kollinearier Wege durch den Polarisator 623 zur Lichtleiterkoppler 624, der die Abtast- und Bezugsimpulse in den Single-Mode-Lichtleiter 626 einkoppelt, unter Aufrechterhaltung der Polarisierung. Das Aufteilungsverhältnis der Strahlvereinigungsvorrichtung 620 ist so gewählt, daß die Energie in dem Bezugsimpuls annähernd gleich der Energie in dem Abtastimpuls ist, nachdem die Wege für den Abtastimpuls und den Bezugsimpuls durch die Strahlvereinigungsvorrichtung 620 kollinear ausgebildet wurden. Der Polarisator 623 versetzt den Abtastimpuls und den Bezugsimpuls in denselben Polarisationszustand.

Alternativ hierzu werden die Abtastimpulse und die Bezugsimpulse von derselben Lichtquelle zur Verfügung gestellt, beispielsweise einem einzelnen Moden-verriegelten Laser. Bei einer Ausführungsform wird ein einzelner Ausgangsimpuls durch einen Strahlteiler in Abtast- und Bezugsimpulse aufgeteilt. Eine optische Verzögerungsleitung mit variabler Länge sorgt für eine Verzögerung zwischen dem Abtastimpuls und dem Bezugsimpuls. Bei einer anderen Ausführungsform werden die Abtastimpulse und die Bezugsimpulse von getrennten Lichtimpulsen abgeleitet, die von demselben Laser ausgegeben werden. Andere Laser als Moden-verriegelte Laser sowie inkohärente Quellen wie beispielsweise lichtemittierende Dioden werden als Lichtquellen in anderen Ausführungsformen eingesetzt, um Abtast- und Bezugsimpulse zur Verfügung zu stellen.

Der Lichtleiter 625 führt die Abtast- und Bezugsimpulse dem Lichtleiterkoppler 628 zu, der die Impulse an das Scan-System 630 ankoppelt, an welchem sie auf den Polarisationsstrahlteiler 632 auftreffen. Der Lichtleiter 626 führt aufgrund seiner Eigenschaften zu einer räumlichen Filterung der Abtast- und Bezugsimpulse, wodurch ihre räumlichen Moden-Strukturen annähernd aneinander angepaßt werden. Ein linear polarisierter Anteil jedes Abtast- und Bezugsimpulses wird durch den Polarisationsstrahlteiler 632 an Strahlsteueroptiken 634 übertragen, welche die Impulse in das Interferometer 699 lenken. Der Weg der Impulse in das Interferometer 699 wird durch den Lichtstrahl 635 repräsentiert. Bei einer Ausführungsform ist das Scan-System 630 ein konfokales Laserscannmikroskop, das auch zur Abbildung eines untersuchten Gerätes dient.

Fig. 2 zeigt das Interferometer 699 und dessen zugehörige Steuerelektronik im einzelnen. Das Interferometer 699 weist einen Verzögerungsarm auf, der durch den Spiegel 705, die Viertelwellentakte 710, eine Aperturblende 712, Linse 715 und den Spiegel 720 gebildet wird, und einen DUT-Arm, der eine Viertelwellenplatte 639 umfaßt, eine Objektlinse 636

und das DUT 640. Bei einer Ausführungsform wird das DUT 640 durch eine herkömmliche x-y-Stufe 641 gehalten. Bei einer anderen Ausführungsform sind das Interferometer 699 und das Scan-System 630 auf einer x-y-z-Stufe gehalten, und werden in Bezug auf ein ortsfestes DUT 640 bewegt. Der Abtastimpuls 609 und der Bezugsimpuls 618 im Lichtstrahl 635 fallen auf den nicht polarisierenden Strahlteiler 701 auf, der jeden einfallenden Impuls auf zwei Impulse aufteilt. Zur Vereinfachung wird der Abschnitt jedes Abtastimpulses 609, der in das DUT durch den Strahlteiler 701 übertragen wird, hier als der erste Abtastimpuls 609a bezeichnet, und wird der Abschnitt jedes Abtastimpulses, der in den Verzögerungsarm des Interferometers 699 abgelenkt wird, hier als der zweite Abtastimpuls 609b bezeichnet. Entsprechend wird der Anteil jedes Bezugsimpulses 618, der durch den Strahlteiler 701 in den DUT-Arm übertragen wird, hier als der erste Bezugsimpuls 618a bezeichnet, und wird der Anteil jedes Bezugsimpulses, der in den Verzögerungsarm des Interferometers 699 geschickt wird, hier als der zweite Bezugsimpuls 618b bezeichnet.

Der erste Abtastimpuls 609a und der erste Bezugsimpuls 618a gehen durch die Viertelwellenplatte 639 hindurch, die typischerweise so orientiert ist, daß sie die Polarisierung der Impulse von linear in zirkulär transformiert. Der zirkulär polarisierte erste Abtastimpuls 609a und der erste Bezugsimpuls 618a werden durch das Objektiv 636 auf denselben Punkt in dem aktiven Bereich 638 des DUT 640 fokussiert. Ein Teil jedes Impulses wird von dem DUT zurück durch die Objektlinse 636 reflektiert, die den Strahl erneut kollimiert, und gelangt zur Viertelwellenplatte 639 hin. Die Viertelwellenplatte 639 transformiert die Polarisierung der Impulse von der zirkulären Polarisierung in die lineare Polarisierung, und zwar orthogonal zu ihrer ursprünglichen linearen Polarisierung. Nach dem Durchgang durch die Viertelwellenplatte 639 gelangt ein Teil jedes der ersten reflektierten Abtastimpulse und der ersten Bezugsimpulse durch den Strahlteiler 701 hindurch, und kehrt auf dem Strahlweg 635 zurück, so daß er auf das Scan-System 630 einfällt.

Der zweite Abtastimpuls 609b und der zweite Bezugsimpuls 618b werden durch den Strahlteiler 701 abgelenkt, und gelangen durch den Verschuß 703 und breiten sich entlang dem Interferometerverzögerungsarmstrahlweg 704 aus. Der Verschuß 703 ist geöffnet, wenn das System für interferometrische Messungen eingesetzt wird. Zur Vereinfachung wird der Strahlweg 701 durch den Spiegel 705 gefaltet. Der zweite Abtastimpuls 609b und der zweite Bezugsimpuls 618b gehen durch die Viertelwellenplatte 710 und die Aperturblende 712 hindurch und gelangen zur Linse 715, welche die Impulse auf den Spiegel 720 fokussiert. Die Position des Spiegels 720, der auf einem Piezobetätigungsglied 725 angebracht ist, wird so eingestellt, daß die Impulse zurück entlang ihrem Einfallsweg reflektiert werden. Die reflektierten Impulse gelangen zurück durch die Linse 715, die Aperturblende 712 und die Viertelwellenplatte 710, und zwar zum Spiegel 705, der die Impulse durch den Verschuß 703 zum Strahlteiler 701 schickt. Die Viertelwellenplatte 710 ist so orientiert, daß die reflektierten Impulse, nachdem sie zweimal durch die Viertelwellenplatte 710 hindurchgegangen sind, linear polarisiert sind, wobei die Polarisierung orthogonal zu ihrer ursprünglichen Position verläuft, und gleich jener des reflektierten ersten Abtastimpulses und des Bezugsimpulses ist. Die Aperturblende 712 stellt die Durchmesser der reflektierten Abtast- und Bezugsstrahlen in dem Verzögerungsarm so ein, daß die Durchmesser der reflektierten Abtast- und Bezugsimpulse in dem DUT-Arm aneinander angepaßt sind.

Ein Teil jedes der reflektierten zweiten Abtast- und zweiten Bezugsimpulse wird durch den Strahlteiler 701 entlang

dem Strahlweg 635 so abgelenkt, daß er mit den Anteilen des reflektierten ersten Abtastimpulses und des reflektierten ersten Bezugsimpulses zum Scan-System 630 zurückge-  
 langt. Der Strahlteiler 701 arbeitet daher auch als Strahlver-  
 einigungsvorrichtung. Bei einer Ausführungsform ist das  
 Aufteilungsverhältnis des Strahlteilers 701 so gewählt, daß  
 für ein typisches reflektiertes Signal von dem DUT 640 das  
 Verhältnis der Energie in dem reflektierten ersten Bezugsimp-  
 puls (reflektiert vom DUT 640) zu jener in dem reflektierten  
 zweiten Bezugsimpuls (reflektiert vom Spiegel 720) etwa  
 1 : 3 beträgt, beim Austritt aus dem Interferometer. Bei einer  
 anderen Ausführungsform ist das Aufteilungsverhältnis so  
 gewählt, daß das Verhältnis der Energien der reflektierten  
 Bezugsimpulse etwa 1 : 1 beträgt. Bei einer anderen Aus-  
 führungsform wird das Verhältnis der Energien der reflek-  
 tierten Bezugsimpulse durch Einfügen eines Leistungsab-  
 schwächers eingestellt, beispielsweise eines Neutraldichte-  
 filters, in den Verzögerungsarmweg.

Die Position des Spiegels 720 wird so eingestellt, daß sich  
 die reflektierten ersten und zweiten Abtastimpulse zeitlich  
 und räumlich überlappen, wenn sie entlang dem Strahlweg  
 635 zum Scan-System 630 zurückkehren. Dies führt dazu,  
 daß die reflektierten ersten und zweiten Bezugsimpulse ein-  
 ander ebenfalls räumlich und zeitlich überlappen, wenn sie  
 entlang dem Strahlweg 635 zum Scan-System 630 zurück-  
 kehren. Da die Abtastimpulse sehr kurz sind (annähernd  
 35 ps), muß die Länge des Interferometerverzögerungsarms  
 (die Verzögerungsweglänge) gleich oder nahezu gleich der  
 Länge des Interferometer-DUT-Arms ausgebildet werden,  
 damit die Pulse überlappt werden können. Bei einer Ausfüh-  
 rungsform sind der Spiegel 720, das Piezobetätigungsglied  
 725 und die Linse 715 auf einer Gleitvorrichtung ange-  
 bracht, die eine Grobeinstellung der Verzögerungsweglänge  
 gestattet.

Wie wiederum aus Fig. 1 hervorgeht, kehren die reflek-  
 tierten Impulse entlang dem Strahlweg 635 zur Strahlenk-  
 optik 635 zurück, welche die reflektierten Impulse auf den  
 Polarisationsstrahlteiler 632 lenkt. Die reflektierten Imp-  
 ulse, deren lineare Polarisation orthogonal zu ihrer ur-  
 sprünglichen linearen Polarisation verläuft, werden durch  
 den Polarisationsstrahlteiler 632 zum Spiegel 642 abge-  
 lenkt, der die reflektierten Impulse auf den Lichtleiterkop-  
 pler 644 reflektiert. Der Lichtleiterkoppler 644 koppelt die re-  
 flektierten Impulse in einen Multimoden-Lichtleiter 646 ein,  
 der die reflektierten Impulse zum Lichtleiterkoppler 648  
 führt. Der Lichtleiterkoppler 648 koppelt die reflektierten  
 Impulse auf den Photodetektor 650 für den reflektierten  
 Strahl innerhalb des Signalverarbeitungsunternehmens 652.

Die reflektierten ersten und zweiten Abtastimpulse, die  
 sich räumlich und zeitlich überlappen, erzeugen ein elektri-  
 sches Interferenzsignal im Photodetektor 650 mit einer  
 Größe, die durch die optische Phasendifferenz zwischen den  
 beiden reflektierten Abtastimpulsen bestimmt wird. Ent-  
 sprechend erzeugen auch die reflektierten ersten und zwei-  
 ten Bezugsimpulse ein elektrisches Interferenzsignal im  
 Photodetektor 650 mit einer Größe, die durch die optische  
 Phasendifferenz zwischen den beiden überlappten, reflek-  
 tierten Bezugsimpulsen bestimmt wird. Der Photodetektor  
 650 gibt einen elektrischen Stromimpuls an der Eingangs-  
 klemme des Transimpedanzverstärkers 654 für jedes Paar  
 reflektierter Abtastimpulse und für jedes Paar reflektierter  
 Bezugsimpulse aus.

Der Transimpedanzverstärker 654 wandelt die Stromim-  
 pulse von dem Photodetektor 650 in Ausgangsspannungs-  
 impulse um, die durch einen schnellen Schalter 656 auf ei-  
 nen Energieanalysator 658 für Abtastimpulsinterferenzsig-  
 nale gekoppelt werden, und alternativ auf den Energieana-  
 lysator 660 für Bezugsimpulsinterferenzsignale. Abtast- und

Bezugslichtimpulse sind ausreichend zeitlich getrennt, da-  
 mit die Ausgangsspannungsimpulse, die typischerweise  
 eine Dauer von 600 ns infolge der begrenzten Bandbreite  
 des Transimpedanzverstärkers 654 aufweisen, voneinander  
 unterschieden werden können. Das Spannungs-Zeitintegral  
 eines Ausgangsspannungsimpulses ist ein Maß für die Ener-  
 gie in dem entsprechenden Interferenzsignal. Die Energiea-  
 nalyse 658 und 660 enthalten jeweils in üblicher Weise  
 einen Integrierer und einen Analog-Digitalwandler, und ge-  
 ben daher jeweils digitale Darstellungen von 14 Bit der  
 Energie in den Abtast- und Bezugsinterferenzsignalen aus.

Ein Anteil jedes einfallenden Abtast- und Bezugsimpul-  
 ses, der von dem Lichtleiter 626 und dem Lichtleiterkoppler  
 628 aus auf das Scan-System 630 einfällt, wird durch den  
 Polarisationsstrahlteiler 632 auf den Spiegel 626 abgelenkt,  
 der die Impulse dem Lichtleiterkoppler 664 zuführt. Der  
 Lichtleiterkoppler 664 koppelt die Impulse in einen Multi-  
 moden-Lichtleiter 666 ein, der die Impulse dem Lichtleiter-  
 koppler 668 zuführt. Der Lichtleiterkoppler 668 koppelt die  
 einfallenden Impulse auf den Photodetektor 670 für den ein-  
 fallenden Strahl innerhalb des Signalverarbeitungsunter-  
 nehmens 652.

Der Photodetektor 670 gibt einen Stromimpuls an der  
 Eingangsklemme des Transimpedanzverstärkers 672 für je-  
 den einfallenden Lichtimpuls aus, den er detektiert. Der  
 Transimpedanzverstärker 672 wandelt die Stromimpulse  
 von dem Photodetektor 670 in Ausgangsspannungsimpulse  
 um, die durch den schnellen Schalter 674 auf den Energiea-  
 nalyse 676 für einfallende Abtastimpulssignale gekoppelt  
 werden, und auf den Energieanalysator 678 für einfallende  
 Bezugsimpulssignale. Die Energieanalysatoren 676 und 678  
 enthalten jeweils auf herkömmliche Weise einen Integrierer  
 und einen Analog-Digitalwandler, und geben digitale Dar-  
 stellungen mit 14 Bit der Energie in den detektierten ein-  
 fallenden Abtast- bzw. Bezugsimpulsen aus.

Bei einer Ausführungsform sind die Photodetektoren 650  
 und 670 PIN-Photodioden aus Indiumgalliumarsenid (In-  
 GaAs) des Modells FD300 von Fermionics Corporation,  
 und sind die Transimpedanzverstärker 654 und 672, die  
 schnellen Schalter 656 und 675, und die Impulsenergieana-  
 lysatoren 658, 660, 676 und 678 so ausgebildet, wie dies von  
 Wilsher et al im US-Patent 5,905,577 beschrieben wurde.

Der Zeitablaufgenerator 680 steuert den Zeitablauf des  
 Betriebs des doppelgepulsten optischen Interferometersys-  
 tems 600. Der Zeitablaufgenerator 680 ist mit der Testvek-  
 torquelle 682 gekoppelt, dem Moden-verriegelten Laser  
 602, dem optischen Modulator 608, dem optischen Modula-  
 tor 616, dem Signalverarbeitungsunternehmens 652, dem In-  
 terferometer 699 und der Datenverarbeitungs- und Steuer-  
 einrichtung 697. Bei einer Ausführungsform ist der Zeitab-  
 laufgenerator 680 ein Zeitablaufgenerator, der in dem US-  
 Patent 5,905,577 von Wilsher et al zur Zeitablaufgenerator-  
 steuerung eines Doppellaserabtastsystems beschrieben ist.

Die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 ist  
 typischerweise ein programmierender digitaler Universal-  
 computerprozessor mit einem Videoanzeigengerät und  
 herkömmlichen Schaltungsplatinen für die Datenacquisition  
 mit hoher Geschwindigkeit und die digitale Signalverarbei-  
 tung.

Bei einer Ausführungsform ist die Testvektorquelle 682  
 ein Logiktestsystem des Typs Schlumberger ITS9000. Auch  
 andere Testvektorquellen, beispielsweise einfache Datenge-  
 neratoren, können verwendet werden, wenn ihr Takt ausrei-  
 chend genau und stabil ist. Die Testvektorquelle 682 gibt  
 wiederholt eine Sequenz von Testvektoren (ein Testmuster)  
 an das DUT 640 auf mehreren Leitungen 684 aus. Das Test-  
 muster führt einen kontinuierlichen Zyklus durch. Wenn da-  
 her die Testvektorquelle 682 den letzten Vektor in dem Test-

muster aussendet, geht die Schleife zum Startvektor zurück, und wird erneut mit dem Aussenden des Testmusters begonnen. Das Testmuster weist typischerweise eine Länge von einigen wenigen Mikrosekunden bis zu einigen wenigen Millisekunden auf.

Bei einer Ausführungsform sind die Moden-verriegelte Laserimpulskette 606 und die Testmusterschleife, die von der Testvektorquelle 682 zur Verfügung gestellt wird, phasenstarr gekoppelt. Selbstverständlich bezieht sich dies nicht auf die optische Phase einzelner Laserimpulse, sondern auf die Phase der periodischen Impulskette in Bezug auf die Phase der periodischen Testmusterschleife. Die Phasenverriegelung der Impulskette und der Testmusterschleife macht es erforderlich, daß eine ganzzahlige Anzahl Moden-verriegelter Laserimpulsperioden in einer Testmusterschleifenperiode vorhanden ist. Im Falle einer Impulswiederholungsrate von 100 MHz eines Moden-verriegelten Laser erfordert dies, daß die Testmusterschleife eine Länge entsprechend eines ganzzahligen Vielfachen von Perioden mit einer Dauer von 10 ns aufweist.

Bei einer Ausführungsform empfängt der Zeitablaufgenerator 680 ein Taktsignal 688 von der Testvektorquelle 682, und leitet mit wohlbekannten PLL-Verfahren ein Taktsignal 689 mit der korrekten Frequenz ab, um den Moden-verriegelten Laser 602 so anzutreiben, daß dieser in Bezug auf die Phase gegenüber der Testmusterschleife verriegelt ist. Ein alternatives Verfahren besteht darin, daß der Zeitablaufgenerator 680 sowohl für die Erzeugung und Bereitstellung des Taktsignals 689 für den Moden-verriegelten Laser 602 und des Taktsignals 688 für die Testvektorquelle 682 sorgt.

Die Testvektorquelle 682 gibt ein Startsignal auf der Leitung 688 zu Beginn jedes Zyklus der Testmusterschleife aus. Das Startsignal auf der Leitung 686 wird dazu verwendet, eine Zeitablaufsequenz im Zeitablaufgenerator 680 zu starten. Zu einem vorbestimmten Zeitpunkt nach Empfang des Startsignals auf der Leitung 686 schickt der Zeitablaufgenerator 680 ein Steuersignal auf der Leitung 693 an den optischen Modulator 616. Beim Empfang des Steuersignals auf der Leitung 639 legt der optische Modulator 616 den Bezugslichtimpuls 618 dadurch fest, daß er einen Durchgang des Strahls 614 mit kontinuierlicher Amplitude von dem Dauerstrichlaser 612 etwa 150 ns lang gestattet. Entsprechend schickt zu einem vorbestimmten Zeitpunkt nach Empfang des Startsignals auf der Leitung 686 der Zeitablaufgenerator 680 ein Steuersignal auf der Leitung 695 zum optischen Modulator 608. Beim Empfang des Steuersignals auf der Leitung 695 legt der optische Modulator 608 einen Abtastlichtimpuls 610 dadurch fest, daß er einen Impuls in der Impulskette 606 hindurchgehen läßt. Weiterhin schickt zu vorbestimmten Zeitpunkten nach Empfang des Startsignals auf der Leitung 686 der Zeitablaufgenerator 680 Steuersignale auf der Leitung 691 an das Signalverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697, so daß die schnellen Schalter 656 und 674 in Reaktion hierauf entsprechend umschalten, um wie voranstehend geschildert Spannungsimpulse von den Ausgangsklemmen der Transimpedanzverstärker 654 und 672 den Impulsenergieanalysatoren 658, 660, 676 und 678 zuzuführen. Die Zeitpunkte für die Steuersignale auf den Leitungen 689, 691, 693 und 695 werden durch die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 eingestellt, und typischerweise von einem Benutzer programmiert, und an den Zeitablaufgenerator 680 mit Steuersignalen auf der Leitung 690 übertragen.

Die vier digitalen Ausgangssignale mit jeweils 14 Bit von dem Signalverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 werden der Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 zugeführt. Für jeden Zyklus des Testmusters empfängt daher die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 vier Dateneingangs-

signale, welche die Energien der einfallenden Abtast- und Bezugsimpulse repräsentieren, und die Energien der Abtast- und Bezugsinterferenzsignale.

Die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 erfaßt das elektrische Signal auf dem DUT 640 durch Sammeln von Daten von den vier Impulsenergieanalysatoren, während die Bezugsimpulse in einem konstanten Zeitabstand in Bezug auf das Startsignal auf der Leitung 686 gehalten werden, und die Abtastimpulse durch eine Reihe fester Zeitpositionen in Bezug auf das Startsignal auf der Leitung 686 bewegt werden, auf eine Art und Weise, die einer Zeitabtaugung entspricht. Typischerweise werden 500 unterschiedliche Zeitpunktpositionen verwendet. Das Verhältnis der Abtast- und Bezugsreflexionsverhältnisse wird für jede der Abtastzeitpunktpositionen berechnet, und so interpretiert, daß es die Spannungsänderungen auf dem DUT 640 entsprechend der Testmustersignalforn repräsentiert.

Bei einer Ausführungsform wird eine einzelne Iteration der Abtastimpulse durch die Reihe der Zeitpunktpositionen durchgeführt. Während dieser Iteration bleiben die Abtastimpulse an jeder Zeitpunktposition mehrere tausend Testmusterzyklen stehen, um die Verringerung des Signalrauschens durch Mittlung oder andere Verarbeitung der gesammelten Daten zu ermöglichen. Bei einer anderen Ausführungsform werden etwa 10 bis etwa 1000 Iterationen durch die Reihe der Zeitpunktpositionen durchgeführt. Während dieser Iterationen bleiben die Abtastimpulse an jeder Zeitpunktposition etwa 10 bis etwa 100 Testmusterzyklen lang.

Der optische Modulator 608 blockiert nicht vollständig unerwünschte Impulse in der Moden-verriegelten Impulskette 606. Spuren oder Reste Moden-verriegelter Impulse gelangen durch den optischen Modulator 608 hindurch, und erzeugen Offset-Signale bei den Photodetektoren 650 und 670. Bei einer Ausführungsform wird ein Verfahren eingesetzt, das in dem US-Patent Nr. 5,905,577 von Wisner et al beschrieben wird, und durch welches die Größen der Offset-Signale bestimmt werden, und von den Abtast- und Bezugsinterferenzsignalen subtrahiert werden.

Die Größen der Abtast- und Bezugsinterferenzsignale reagieren sehr empfindlich auf die Differenz der optischen Weglängen zwischen dem DUT-Arm und dem Verzögerungsarm im Interferometer 699. Daher reagieren die Interferenzsignale sehr empfindlich auf die Position des DUT 640 entlang der optischen Achse, die durch die einfallenden Abtast- und Bezugsimpulse gebildet wird. Die Position des DUT 640 entlang der optischen Achse wird hier als die Z-Position des DUT 640 bezeichnet.

Die Empfindlichkeit der Interferenzsignale in Bezug auf die Z-Position des DUT 640 wird durch folgendes Beispiel demonstriert. Es wird ein Strahl von Bezugsimpulsen betrachtet, die vom DUT 640 reflektiert werden, also reflektierte erste Bezugsimpulse, und als Strahl A bezeichnet. Weiterhin wird ein Strahl von Bezugsimpulsen betrachtet, die von dem Interferometerverzögerungsarmspiegel 720 reflektiert werden, also reflektierte zweite Bezugsimpulse, und als Strahl B bezeichnet. Es wird angenommen, daß die Position des Spiegels 720 so eingestellt ist, daß die Überlappung von Paaren reflektierter erster und zweiter Bezugsimpulse zeitlich und räumlich am Photodetektor 650 maximiert wird. Weiterhin wird angenommen, daß sich die Leistung des Strahls A nicht bei einer Änderung der Z-Position des DUT 640 ändert, und daß sich auch die Leistung des Strahls B nicht bei einer Änderung der Position des Spiegels 720 ändert, und wenn sich dann die Z-Position des DUT 640 über eine Entfernung entsprechend einer Viertelwellenlänge des Lichts bewegt, ändert sich die Gesamtleistung, die in dem Interferenzsignal durch den Photodetektor 650 detektiert wird, entsprechend der Quadratsumme von A und B.



Aus der allgemeinen Optik ergibt sich, daß die maximale und minimale Leistung, die in diesem Bereich von Z-Positionen auftritt, und den Bedingungen einer konstruktiven bzw. destruktiven Interferenz entspricht, gleich  $(A^{1/2} + B^{1/2})^2$  bzw.  $(A^{1/2} - B^{1/2})^2$  ist. Die mittlere Leistung ist  $A + B$ . Wenn beispielsweise die Leistung im Strahl A 1 Mikrowatt ( $\mu W$ ) beträgt, und die Leistung im Strahl B  $3 \mu W$ , dann ist die maximale detektierte Leistung gleich  $7,46 \mu W$ , die minimale detektierte Leistung gleich  $0,536 \mu W$ , und die mittlere detektierte Leistung  $4 \mu W$ . Die Änderung des Ausgangssignals des Photodetektors entsprechend der Z-Position, unter der Annahme, daß die Wellenlänge der Lichtimpulse  $1064 \text{ nm}$  beträgt, ist durch die sinusförmige Kurve 830 in Fig. 3 dargestellt. Man sieht heraus, daß eine Änderung der Z-Position von  $0,1 \text{ Mikrometer}$ , was beispielsweise einer kleinen Amplitudenvibration des DUT 640 entspricht, eine sehr starke Änderung der detektierten Leistung hervorruft.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform wird die extreme Empfindlichkeit der Interferenzsignale auf die Z-Position des DUT 640 dadurch abgemildert, daß mit einer geschlossenen Regelschleife die Position des Spiegels 720 gesteuert oder geregelt wird. Die Position des Spiegels 720 wird so gesteuert, daß das Bezugsinterferenzsignal am Photodetektor 650 annähernd konstant bleibt, wenn sich das DUT 640 bewegt. Bei einer alternativen Ausführungsform ist ein schnelles Betätigungsglied entsprechend am DUT 640 vorgesehen, beispielsweise als Teil der Halterungsstufe 641, und wird so gesteuert, daß es der Bewegung des DUT 640 an dessen Quelle entgegenwirkt. Die folgende Beschreibung der Steuereinrichtungen und Steuerverfahren betrifft beide Ausführungsformen.

Wie aus den Fig. 1 und 2 hervorgeht, wird das DUT 640 abgebildet, wobei der Verschluß 703 geschlossen ist, um irgendwelche Interferenzmuster auf dem Bild zu verhindern, durch Rasterabtastung des Abtast- oder Bezugsstrahls über das DUT 640 mit der Strahlenoptik 634. Der einfallende Strahl aus Abtast- und Bezugsimpulsen wird dann zu einem interessierenden Bereich auf dem DUT 640 durch die Strahlenoptik 634 ausgerichtet, und dann werden der Verschluß 703 und der Schalter 740 geöffnet. Die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 schickt Steuersignale auf der Leitung 685 an den DAC 745, welche DAC 745 dazu veranlassen, eine Spannung an seiner Ausgangsklemme zu erzeugen, die einen Strom im Widerstand 785 hervorruft. Der Verstärker 735 erzeugt eine Spannung an seiner Ausgangsklemme proportional zur Summe der Ströme an seiner Eingangsklemme von den Widerständen 785 und 790. Die Ausgangsspannung des Verstärkers 735 wird auf das Piezobetätigungsglied 725 gekoppelt, das an dem Spiegel 720 angebracht ist. Das Betätigungsglied 725 bewegt den Spiegel 720 über einen Bereich von etwa  $6 \text{ Mikrometer}$ , um eine Änderung der Ausgangsspannung des Verstärkers 735 von etwa  $100 \text{ V}$  zu erhalten.

Ist der Schalter 740 geöffnet, so ist der Strom durch den Widerstand 790 gleich Null, und wird das Ausgangssignal des Verstärkers 735 durch das Ausgangssignal des DAC 745 gesteuert. Die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 stellt eine Reihe von Spannungen an der Ausgangsklemme des DAC 745 ein, was das Betätigungsglied 725 dazu veranlaßt, den Spiegel 720 zu bewegen, und so die Weglänge des Verzögerungsarms zu ändern, und zeichnet die Bezugsinterferenzsignale auf, die durch die digitalen Ausgangssignale beim Impulsenergieanalysator 660 repräsentiert werden.

Für jede Z-Position des DUT 640 findet man eine Position des Spiegels 720 im Bereich einer halben Wellenlänge, die eine detektierte Bezugsinterferenzsignalleistung am Photodetektor 650 im Zentrum des Bezugsinterferenzsignallei-

stungsbereiches ergibt. Bei dem voranstehend geschilderten Beispiel beträgt dieser Leistungspegel  $4 \mu W$ . Eine Spannung, welche diese Mittelpunktsleistung repräsentiert, wird auf dem Ausgang eines DAC 775 durch die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 eingestellt, und wird als die Bezugsingangssgröße für einen Differenzverstärker 770 verwendet. Ein Analogsignal 661, das von dem Impulsenergieanalysator 660 gesteuert wird, und die Größe des Bezugsinterferenzsignals repräsentiert, wird als die andere Eingangsgröße zum Differenzverstärker 770 verwendet. Die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 stellt das Ausgangssignal des DAC 745 auf die Mitte der Skala ein, wodurch der Ausgang des Verstärkers 735 auf etwa  $50 \text{ V}$  eingestellt wird.

Die Datenverarbeitungs- und Steuereinrichtung 697 schließt dann den Schalter 740, um einen Strom von der Ausgangsklemme des Integrierverstärkers 750 durch den Widerstand 790 zur Eingangsklemme des Verstärkers 735 durchzulassen. Die Differenz zwischen dem Bezugsausgangssignal des DAC 775 und dem analogen Ausgangssignal 661 von dem Impulsenergieanalysator 660 taucht auf der Ausgangsklemme des Differenzverstärkers 770 auf. Der Zeitablaufgenerator 680 schickt Steuersignale auf der Leitung 693 an die monostabile Schaltung 780, und ebenso wie voranstehend geschildert an den optischen Modulator 616. Die monostabile Schaltung 780 schließt den Schalter 765 etwa  $5 \mu s$  lang, in Intervallen, die länger als etwa  $100 \mu s$  sind. Wenn das Ausgangssignal des Differenzverstärkers 770 nicht  $0 \text{ V}$  beträgt, wenn der Schalter 765 geschlossen ist, wird ein Strom durch den Widerstand 760 zum Integrierverstärker 750 geschickt, der die Spannung an der Ausgangsklemme des Verstärkers 750 ändert, und den durch den Widerstand 790 hindurchgehenden Strom, und über den Verstärker 735 und das Piezobetätigungsglied 725 die Position des Spiegels 720 ändert.

Die Verstärker 770, 750 und 735 bilden eine negative Rückkopplungsschleife, welche die Position des Spiegels 720 steuert bzw. regelt. Wenn sich die Z-Position des DUT 640 ändert, ändert die negative Rückkopplungsschleife die Position des Spiegels 720 so, daß das detektierte Bezugsinterferenzsignal im Zentrum seines Leistungsbereiches ( $4 \mu W$  beim voranstehenden Beispiel) bleibt. Der Spiegel 720 weist eine kleine Masse auf, so daß die Rückkopplungsschleife Vibrationen des DUT 640 im Frequenzbereich von Gleichspannung bis etwa  $200 \text{ Hz}$  oder mehr folgen kann. Die Position des Spiegels 720 kann durch ein piezoelektrisches Gerät 725 oder durch ein elektromagnetisches Schwingpulengerät gesteuert werden. Wie voranstehend erwähnt kann die Rückkopplung bei einem entsprechenden Betätigungsglied beim DUT 640 dazu eingesetzt werden, Vibrationen an ihrer Quelle auszugleichen, allerdings unter größeren Schwierigkeiten, da typischerweise das DUT 640 eine größere Masse aufweist als der Spiegel 720.

Die detektierte Bezugsinterferenzsignalleistung als Funktion der Fehlanpassung der optischen Weglängen des DUT-Arms und des Verzögerungsarms des Interferometers wird auch die Kurve 830 im Diagramm von Fig. 3 repräsentiert. Der Bezugspegel, der vom DAC 775 erzeugt wird, wird durch die Linie 805 angegeben. Man sieht, daß bei vorhandener Rückkopplungsschleife verschiedene stabile (negative Rückkopplung) und instabile (positive Rückkopplung) Spiegelpositionen vorhanden sind, an welchen die Bezugsinterferenzsignalleistung 830 gleich dem Bezugspegel 805 ist. Diese Positionen treten an den Punkten 810, 820, 840 und 850 auf. Sind keine Vibrationen beim DUT 640 vorhanden, wird die Position des Spiegels 720 von den instabilen Punkten zu einem der stabilen Punkte bewegt, und gelangt zur Ruhe praktisch exakt auf einem der stabilen Punkte. Es

kann eine Schaltung vorgesehen sein, um die elektronische Verstärkung in der Rückkopplungsschleife zu invertieren, so daß die Position der stabilen und instabilen Punkte umgekehrt werden kann. Es ist wesentlich, daß das Rückkopplungssystem ausreichend wirksam ist, um den Betrieb in der Nähe dieses stabilen Punktes beim Vorhandensein normaler DUT-Vibrationen aufrechtzuerhalten, da anderenfalls das Rückkopplungssystem ständig nach einem neuen stabilen Arbeitspunkt sucht. Wie auf diesem Gebiet wohlbekannt ist, wird die Wirksamkeit des Rückkopplungssystems zum Teil durch die Verstärkung und die Bandbreite der Verstärker 735, 750 und 770 bestimmt, durch die Reaktionszeit des Piezobelätigungsgliedes 725 mit daran angebrachtem Spiegel 720, und durch die Frequenz, mit welcher der Schalter 765 geschlossen wird, um den Ausgang des Verstärkers 770 und so das Analogsignal 661 abzutasten.

Bei einer Ausführungsform wird der Schaltablaufgenerator 680 so abgeändert, daß er ein Steuersignal auf der Leitung 693 häufiger als einmal in jedem Zyklus des Testmusters zur Verfügung stellt, daß von der Testvektorquelle 682 ausgegeben wird. Daher wird mehr als einmal pro Testmusterzyklus der Bezugsimpuls 618 definiert und der Schalter 765 geschlossen, wodurch die Rate erhöht wird, mit welcher das Rückkopplungssystem das Analogsignal 661 abtastet.

Jede Differenz der Lichtwellenlänge zwischen dem Abtast- und dem Bezugslaser führt dazu, daß sich die Abtast- und Bezugsinterferenzmuster unterscheiden. Wenn beispielsweise der Abtastlaser eine kürzere optische Wellenlänge aufweist als der Bezugslaser, dann wird das detektierte Abtastinterferenzsignal als Funktion der Fehlanpassung zwischen den optischen Weglängen des DUT-Arms und des Verzögerungsarms als sinusförmige Kurve repräsentiert, ähnlich wie die Kurve 830 in Fig. 3, jedoch mit kürzerer Wellenlänge. Bei ausreichend großen Fehlanpassungen in Bezug auf die optische Weglänge werden daher Variationen beim Abtastinterferenzsignal infolge von Bewegungen des DUT 640 nicht durch die Bewegungen des Spiegels 720 kompensiert, die das Bezugsinterferenzsignal stabilisieren. Unterscheiden sich die Laser mit einer nominellen Wellenlänge von 1064 nm um etwa 0,5 nm, so sollte die Fehlanpassung in Bezug auf die optische Weglänge zwischen dem DUT-Arm und dem Verzögerungsarm weniger als etwa 50 µm betragen.

Wenn ein konfokales Mikroskop dazu verwendet wird, die Strahlen der Abtast- und Bezugsimpulse an das DUT 640 zu übertragen, dann können Vibrationen des DUT 640 sowohl die Amplitude der reflektierten Impulse als auch deren optische Phase ändern. Daher werden einige Bewegungen des Spiegels 720 zu dem Zweck durchgeführt, eine Amplitudenänderung bei dem reflektierten Licht zu kompensieren, anstatt eine Phasenänderung bei dem reflektierten Licht. Da sich das DUT 640 im Brennpunkt der Objektivlinse 636 befindet, wird angenommen, daß diese Amplitudenänderungen ausreichend klein sind, typischerweise weniger als  $\pm 10\%$  über den interessierenden Brennweitenbereich, so daß sie durch ausreichend kleine Spiegelbewegungen kompensiert werden, so daß dieser Effekt vernachlässigt werden kann.

Variationen der Amplitude der einfallenden Bezugsimpulse führen entsprechend zu einer fehlerhaften Kompensationsbewegung des Spiegels 720. Bei einer Ausführungsform werden diese Fehler dadurch vermieden, daß die Rückkopplungsschleife mit dem Bezugsimpulsreflexionsverhältnis anstatt mit dem Bezugsimpulsinterferenzsignal betrieben wird. Die Änderungen der Bezugsimpulsamplitude betragen allerdings typischerweise weniger als 5%, und sind daher ausreichend klein, so daß die durch die fehlerhaften Bewegungen des Spiegels 720 hervorgerufenen Fehler ver-

nachlässigt werden können.

Die vorliegende Beschreibung dient zur Erläuterung, nicht zur Einschränkung. Anhand dieser Beschreibung werden Fachleuten weitere Abänderungen auffallen, die ebenfalls vom Wesen und Umfang der vorliegenden Erfindung umfaßt sein sollen, die sich aus der Gesamtheit der vorliegenden Anmeldeunterlagen ergeben und von den beigefügten Patentansprüchen umfaßt sein sollen.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Feststellung der Aktivität in einem Halbleitergerät, wenn ein sich wiederholendes elektrisches Testmuster an das Gerät angelegt wird, mit folgenden Schritten:

Bereitstellung eines ersten Abtastlichtimpulses zu einer ausgewählten Zeit während jeder Wiederholung des Testmusters, und Aufteilung des ersten Abtastlichtimpulses zur Bereitstellung zumindest eines zweiten Abtastlichtimpulses;

Bereitstellung eines ersten Bezugslichtimpulses zu einer Zeit während jeder Wiederholung des Testmusters, die in Bezug auf die ausgewählte Zeit verschoben ist, an welcher der erste Abtastlichtimpuls zur Verfügung gestellt wird, und Aufteilung des ersten Bezugslichtimpulses zur Bereitstellung zumindest eines zweiten Bezugslichtimpulses;

Richten des ersten Abtastlichtimpulses und des ersten Bezugslichtimpulses auf das Halbleitergerät;

Vereinigung des ersten Abtastlichtimpulses mit dem zweiten Abtastlichtimpuls und des ersten Bezugslichtimpulses mit dem zweiten Bezugslichtimpuls, nachdem eine Wechselwirkung des ersten Abtastlichtimpulses und des ersten Bezugslichtimpulses mit dem Halbleitergerät stattgefunden hat, so daß sich der erste Abtastlichtimpuls und der zweite Abtastlichtimpuls zeitlich und räumlich überlappen, und sich der erste Bezugslichtimpuls und der zweite Bezugslichtimpuls zeitlich und räumlich überlappen;

Feststellung der sich überlappenden Abtastlichtimpulse, um hierdurch ein Abtastinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen;

Feststellung der sich überlappenden Bezugslichtimpulse, um hierdurch ein Bezugsinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen; und

Bestimmung einer Funktion des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß weiterhin die ausgewählte Zeit bei der Wiederholung des Testmusters so geändert wird, daß die Funktion des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals an mehreren der ausgewählten Zeiten innerhalb des Testmusters bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Abtastlichtimpuls ein Laserlichtimpuls ist.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserlichtimpuls aus einer Kette Modenverriegelter Laserimpulse ausgewählt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß eine Phasenverriegelung der Modenverriegelten Laserimpulse und des sich wiederholenden Testmusters stattfindet.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Bezugslichtimpuls ein Laserlichtimpuls ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Laserstrahl zur Bereitstellung des Laserim-



pulses moduliert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastlichtimpulse und die Bezugslichtimpulse annähernd dieselbe Wellenlänge aufweisen.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeit während jeder Wiederholung des elektrischen Testmusters festgehalten wird, an welcher der erste Bezugslichtimpuls in Bezug auf das Testmuster zur Verfügung gestellt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Abtastlichtimpuls und der erste Bezugslichtimpuls entlang demselben Weg auf das Halbleitergerät geschickt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Abtastlichtimpuls und der zweite Bezugslichtimpuls entlang einem Verzögerungsweg geschickt werden, bevor der zweite Abtastlichtimpuls mit dem ersten Abtastlichtimpuls vereinigt wird, und der zweite Bezugslichtimpuls mit dem ersten Bezugslichtimpuls vereinigt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß eine Rückkopplungsregelung der Länge des Verzögerungsweges zum Kompensieren einer Bewegung des Halbleitergerätes erfolgt.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückkopplungsregelung das Bezugsinterferenzsignal stabilisiert.

14. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Abtastinterferenzsignal verstärkt wird, das Abtastinterferenzsignal integriert wird, und das Abtastinterferenzsignal digitalisiert wird.

15. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Bezugsinterferenzsignal verstärkt wird, das Bezugsinterferenzsignal integriert wird, und das Bezugsinterferenzsignal digitalisiert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Schritte der Feststellung der sich überlappenden Abtastlichtimpulse und der Feststellung der sich überlappenden Bezugslichtimpulse die Feststellung der sich überlappenden Abtastlichtimpulse und der sich überlappenden Bezugslichtimpulse umfassen, um ein Detektorsignal zur Verfügung zu stellen, ein Anteil des Detektorsignals integriert und digitalisiert wird, um ein Abtastinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen, und ein Anteil des Detektorsignals integriert und digitalisiert wird, um ein Bezugsinterferenzsignal zur Verfügung zu stellen.

17. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Amplitudenrauschen in dem Abtastinterferenzsignal und in dem Bezugsinterferenzsignal eliminiert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des Eliminierens von Amplitudenrauschen das Feststellen eines Anteils einer Abtastlichtimpulsenergie umfaßt, das Feststellen eines Anteils einer Bezugslichtimpulsenergie, das Normieren des Abtastinterferenzsignals durch den Anteil der Abtastlichtimpulsenergie, und das Normieren des Bezugsinterferenzsignals durch den Anteil der Bezugslichtimpulsenergie.

19. Einrichtung zur Feststellung von Aktivität in einem Halbleitergerät, wenn ein sich wiederholendes elektrisches Testmuster an das Gerät angelegt wird, wobei vorgesehen sind:

eine Quelle eines ersten Abtastlichtimpulses, wodurch ein erster Abtastlichtimpuls zu einer ausgewählten Zeit während jeder Wiederholung des elektrischen Testmusters ausgegeben wird;

eine Quelle eines ersten Bezugslichtimpulses, wodurch ein erster Bezugslichtimpuls zu einer Zeit ausgegeben wird, die in Bezug auf die ausgewählte Zeit verschoben ist, an welcher der erste Abtastlichtimpuls zur Verfügung gestellt wird;

ein Teiler, auf welchen der erste Abtastlichtimpuls und der erste Bezugslichtimpuls einfallen, wodurch zumindest ein zweiter Abtastlichtimpuls und ein zweiter Bezugslichtimpuls zur Verfügung gestellt werden;

eine Halterung für das Halbleitergerät, auf welches der erste Abtastlichtimpuls und der erste Bezugslichtimpuls einfallen;

eine Strahlvereinigungsvorrichtung, die so angeordnet ist, daß sie den ersten Abtastlichtimpuls und den zweiten Abtastlichtimpuls vereinigt, und den ersten Bezugslichtimpuls und den zweiten Bezugslichtimpuls vereinigt, nachdem eine Wechselwirkung des ersten Abtastlichtimpulses und des ersten Bezugslichtimpulses mit dem Halbleitergerät stattgefunden hat;

ein Detektor, der so angeordnet ist, daß er den ersten Abtastlichtimpuls und den zweiten Abtastlichtimpuls feststellt, um hierdurch ein Abtastinterferenzsignal auszugeben, und den ersten Bezugslichtimpuls und den zweiten Bezugslichtimpuls feststellt, um hierdurch ein Bezugsinterferenzsignal auszugeben; und ein Prozessor, der mit dem Detektor gekoppelt ist, um hierdurch eine Funktion des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals zu bestimmen.

20. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die ausgewählte Zeit bei Wiederholung des elektrischen Testmusters geändert wird, so daß die Funktion des Abtastinterferenzsignals und des Bezugsinterferenzsignals an mehreren der ausgewählten Zeiten innerhalb des Testmusters bestimmt wird.

21. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle des ersten Abtastlichtimpulses einen ersten Laser aufweist, und die Quelle des ersten Bezugslichtimpulses einen zweiten Laser aufweist.

22. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle des ersten Abtastlichtimpulses und die Quelle des ersten Bezugslichtimpulses denselben Laser aufweisen.

23. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle des ersten Abtastlichtimpulses ein Laser ist.

24. Einrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Laser ein Moden-verriegelter Laser ist, und weiterhin einen optischen Modulator aufweist, der so angeordnet ist, daß er den ersten Abtastlichtimpuls aus einer Kette Moden-verriegelter Laserlichtimpulse auswählt.

25. Einrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Kette aus Moden-verriegelten Laserlichtimpulsen und das sich wiederholende Testmuster in Bezug auf die Phase miteinander verriegelt sind.

26. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Quelle des ersten Bezugslichtimpulses ein Laser ist.

27. Einrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß ein optischer Modulator vorgesehen ist, und ein Ausgangsstrahl des Lasers durch den optischen Modulator moduliert wird, um den ersten Bezugslichtimpuls zur Verfügung zu stellen.

28. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Abtastlichtimpulse und die Bezugslichtimpulse etwa dieselbe Wellenlänge aufweisen.

29. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeit während jeder Wiederholung des

Testmusters, an welcher der erste Bezugslichtimpuls zur Verfügung gestellt wird, in Bezug auf das Testmuster fest ist.

30. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Abtastlichtimpuls und der erste Bezugslichtimpuls entlang demselben Weg auf das Halbleitergerät hin verlaufen. 5

31. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein Verzögerungsweg vorgesehen ist, entlang welchem der zweite Abtastlichtimpuls und der zweite Bezugslichtimpuls geschickt werden. 10

32. Einrichtung nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß eine Rückkopplungsschleife vorgesehen ist, die an den Verzögerungsweg gekoppelt ist, wodurch die Länge des Verzögerungsweges gesteuert oder geregelt wird, um eine Bewegung des Halbleitergeräts zu kompensieren. 15

33. Einrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Rückkopplungsschleife das Bezugsinterferenzsignal stabilisiert. 20

34. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Detektor einen Photodetektor aufweist, der so angeordnet ist, daß er den ersten Abtastlichtimpuls und den zweiten Abtastlichtimpuls feststellt, und ein Abtastinterferenzsignal ausgibt, einen Verstärker, der so angeschlossen ist, daß er das Abtastinterferenzsignal empfängt, einen Integrierer, der so angeschlossen ist, daß er das verstärkte Abtastinterferenzsignal empfängt, und einen Digitalisierer, der so angeschlossen ist, daß er das integrierte Abtastinterferenzsignal empfängt. 25 30

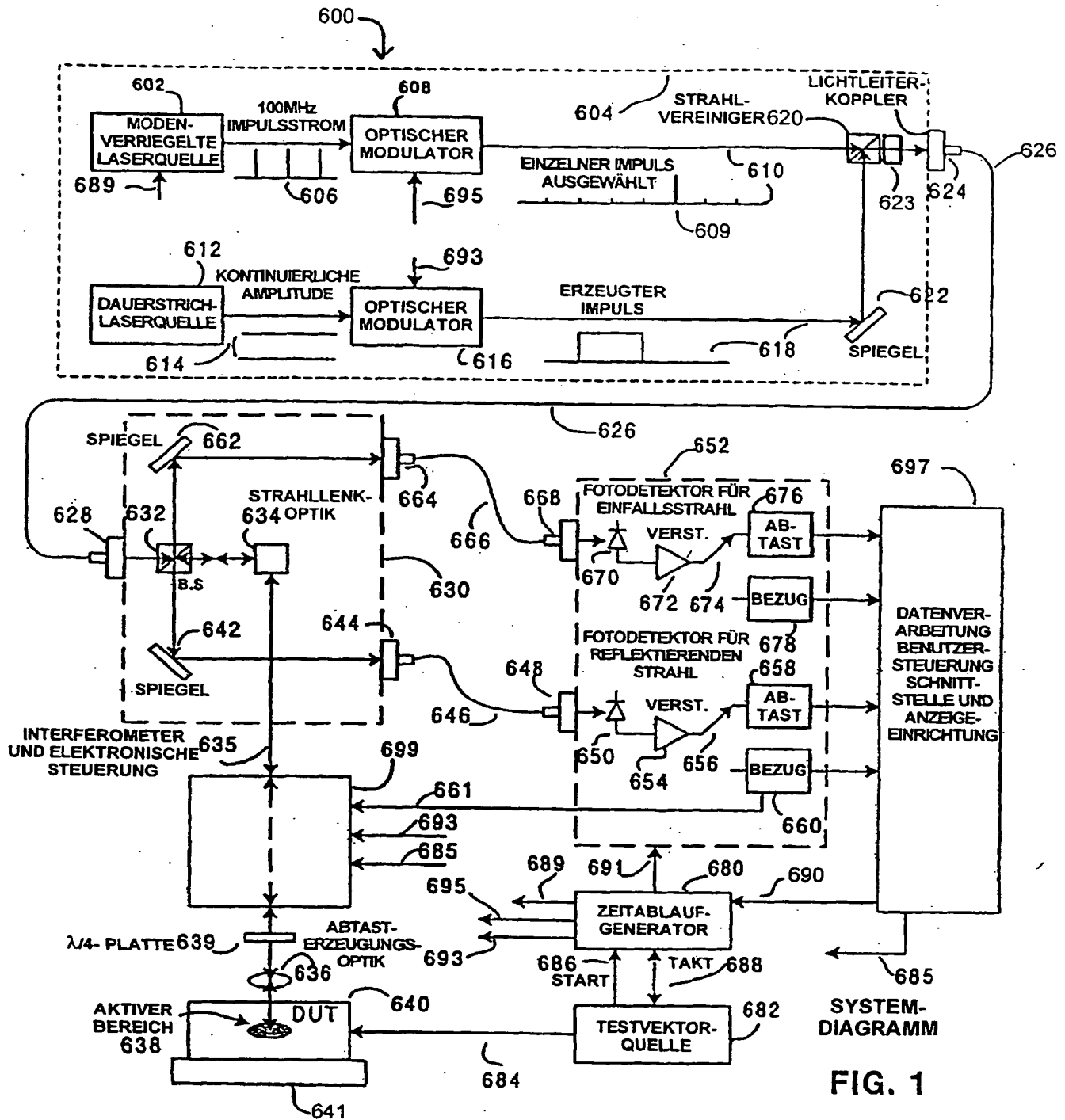
35. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Detektor einen Photodetektor aufweist, der so angeordnet ist, daß er den ersten Bezugslichtimpuls feststellt, und den zweiten Bezugslichtimpuls, und ein Bezugsinterferenzsignal ausgibt, einen Verstärker, der so angeschlossen ist, daß er das Bezugsinterferenzsignal empfängt, einen Integrierer, der so angeschlossen ist, daß er das verstärkte Bezugsinterferenzsignal empfängt, und einen Digitalisierer, der so angeschlossen ist, daß er das integrierte Bezugsinterferenzsignal empfängt. 35 40

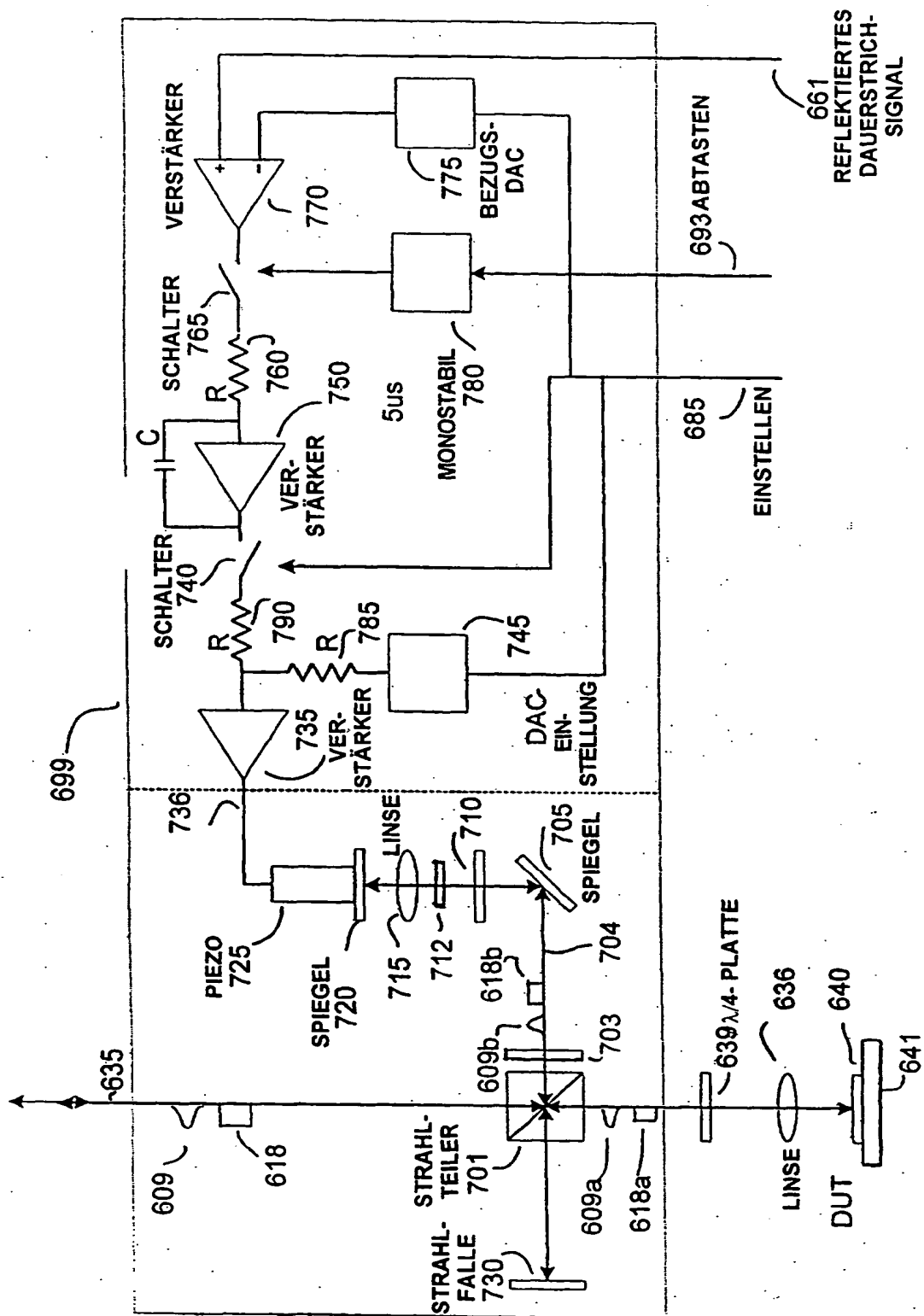
36. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teiler vorgesehen ist, der so angeordnet ist, daß er einen Teil eines Abtastlichtimpulses ablenkt, ein Photodetektor, der so angeordnet ist, daß er den Anteil des Abtastlichtimpulses feststellt, und ein Photodetektorsignal ausgibt, ein Verstärker, der so angeschlossen ist, daß er das Photodetektorsignal empfängt, ein Integrierer, der so angeschlossen ist, daß er das verstärkte Photodetektorsignal empfängt, und ein Digitalisierer, der so angeschlossen ist, daß er das integrierte Photodetektorsignal empfängt. 45 50

37. Einrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein Teiler vorgesehen ist, der so angeordnet ist, daß er einen Anteil eines Bezugslichtimpulses ablenkt, ein Photodetektor, der so angeordnet ist, daß er den Anteil des Bezugslichtimpulses feststellt und ein Photodetektorsignal ausgibt, ein Verstärker, der so angeschlossen ist, daß er das Photodetektorsignal empfängt, ein Integrierer, der so angeschlossen ist, daß er das verstärkte Photodetektorsignal empfängt, und ein Digitalisierer, der so angeschlossen ist, daß er das integrierte Photodetektorsignal empfängt. 55 60 65

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





# INTERFEROMETER UND STEUERELEKTRONIK

**FIG 2**

Figur 3

